

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

## Σχέσεις μάζας στις χημικές αντιδράσεις



### Περιεχόμενα

- 3.1 Αναπαριστώντας τη χημεία σε διαφορετικά επίπεδα
- 3.2 Ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων
- 3.3 Μοριακό βάρος και γραμμομοριακή μάζα
- 3.4 Στοιχειομετρία: Συσχέτιση ποσοτήτων των αντιδρώντων και των προϊόντων
- 3.5 Αποδόσεις χημικών αντιδράσεων
- 3.6 Αντιδράσεις με έλλειμμα αντιδρώντων
- 3.7 Ποσοστιαία σύσταση και εμπειρικοί τύποι
- 3.8 Προσδιορισμός εμπειρικών τύπων: Στοιχειακή ανάλυση
- 3.9 Προσδιορισμός μοριακού βάρους: Φασματομετρία μάζας

ΟΔΗΓΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΕΞΑΣΚΗΣΗΣ

Οι σχέσεις μάζας μεταξύ των αντιδρώντων και των προϊόντων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ποσότητας του ακετυλοσαλικυλικού οξέος που σχηματίζεται κατά την αντίδραση που πραγματοποιείται από τη φαρμακευτική βιομηχανία.

**Πώς χρησιμοποιείται η αρχή της οικονομίας του ατόμου σε μια χημική σύνθεση έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα απόβλητα;**

Μπορείτε να βρείτε την απάντηση σε αυτή την ερώτηση στη σελίδα 153 στο **ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΩΤΗΜΑ**

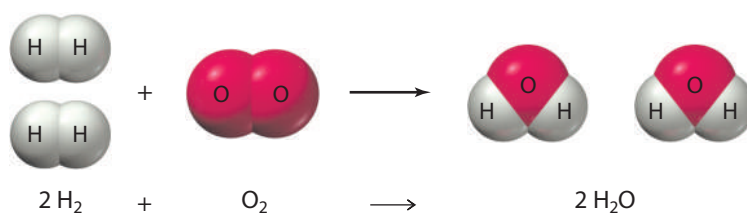
**Ε**ίναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι οι χημικές αντιδράσεις –δηλαδή η αλλαγή μιας ουσίας σε κάποια άλλη– βρίσκονται στην καρδιά της επιστήμης. Σχεδόν κάθε διαδικασία που λαμβάνει χώρα στο σώμα σας, συμπεριλαμβανομένων της όρασης, της αίσθησης του πόνου και της μετατροπής του φαγητού σε ενέργεια, αποτελείται στην ουσία από μια σειρά χημικών αντιδράσεων. Με παρόμοιο τρόπο, προϊόντα που χρησιμοποιούμε καθημερινά, όπως οι βαφές, τα πλαστικά, τα κυκλώματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών και τα μέταλλα, κατασκευάζονται όλα με χημικές αντιδράσεις.

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα αρχίσουμε μαθαίνοντας πώς μπορούμε να περιγράψουμε τις χημικές αντιδράσεις μελετώντας πρώτα τις συμβάσεις αναγραφής των χημικών εξισώσεων. Στη συνέχεια, θα εξετάσουμε τις σχέσεις μάζας μεταξύ των αντιδρώντων και των προϊόντων στις χημικές αντιδράσεις, οι οποίες μας επιτρέπουν να υπολογίζουμε ποια μπορεί να είναι η ποσότητα του προϊόντος που είναι δυνατόν να παρασκευαστεί με δεδομένη ποσότητα αρχικών αντιδρώντων. Τέλος, θα δούμε πώς προσδιορίζονται οι χημικοί τύποι των ενώσεων και πώς μετράμε τα μοριακά βάρη.

### 3.1 Αναπαριστώντας τη χημεία σε διαφορετικά επίπεδα

Πριν αρχίσουμε αυτό το κεφάλαιο, ας απαντήσουμε πρώτα σε μια απλή αλλά σημαντική ερώτηση: Τι αντιπροσωπεύουν οι αριθμοί και τα σύμβολα στους χημικούς τύπους και στις χημικές εξισώσεις; Η απάντηση σε αυτή την ερώτηση δεν είναι τόσο εύκολη όσο φαίνεται, επειδή ένα χημικό σύμβολο μπορεί να έχει διαφορετικές σημασίες κάτω από διαφορετικές περιστάσεις. Οι χημικοί χρησιμοποιούν τα ίδια σύμβολα για την αναπαράσταση της χημείας τόσο στο μικροσκοπικό επίπεδο όσο και στο μακροσκοπικό επίπεδο και τείνουν να μη διαχωρίζουν τι λαμβάνει χώρα στο καθένα από αυτά τα δύο επίπεδα, με αποτέλεσμα να προκαλείται σύγχυση σε οποιονδήποτε νεοεισερχόμενο στο πεδίο.

Στο μικροσκοπικό επίπεδο, τα χημικά σύμβολα αναπαριστούν τη συμπεριφορά των διακριτών ατόμων και μορίων. Τα άτομα και τα μόρια είναι υπερβολικά μικρά για να μπορούμε να τα δούμε, ωστόσο μπορούμε να περιγράψουμε τη συμπεριφορά τους στο μικροσκοπικό επίπεδο. Για παράδειγμα, μπορούμε να καταλάβουμε τη σημασία της εξίσωσης  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  ως «Δύο μόρια υδρογόνου αντιδρούν με ένα μόριο οξυγόνου προς τον σχηματισμό δύο μορίων νερού». Προσπαθούμε να καταλάβουμε τον τρόπο που πραγματοποιούνται οι αντιδράσεις στο μικροσκοπικό επίπεδο. Παρότι φαίνεται απλοϊκό, μπορούμε να οπτικοποιήσουμε ένα μόριο ως μια συλλογή σφαιρών που συγκρατούνται μεταξύ τους. Για παράδειγμα, προσπαθώντας να καταλάβουμε πώς το  $\text{H}_2$  αντιδρά με το  $\text{O}_2$ , μπορούμε να φανταστούμε ότι μόρια  $\text{H}_2$  και  $\text{O}_2$  αποτελούνται από δύο σφαίρες ενωμένες μαζί και ότι το μόριο του νερού αποτελείται από τρεις σφαίρες.



Στο μακροσκοπικό επίπεδο, οι χημικοί τύποι και οι χημικές εξισώσεις αναπαριστούν τη μακροσκοπική συμπεριφορά των ατόμων και των μορίων η οποία έχει ως αποτέλεσμα τις ορατές ιδιότητες. Με άλλα λόγια, τα σύμβολα  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$  δεν αναπαριστούν απλώς μεμονωμένα μόρια αλλά τεράστιους αριθμούς μορίων τα οποία συνολικά παρουσιάζουν μια σειρά από φυσικές ιδιότητες. Το σύνολο ενός μεγάλου αριθμού μορίων  $\text{H}_2\text{O}$  εμφανίζεται σε εμάς ως ένα άχρωμο υγρό το οποίο παγώνει στους  $0^\circ\text{C}$  και βράζει στους  $100^\circ\text{C}$ . Είναι εμφανές ότι στο εργαστήριο έχουμε να κάνουμε με τη μακροσκοπική συμπεριφορά όταν ζυγίζουμε συγκεκριμένες ποσότητες αντιδρώντων, τις τοποθετούμε σε μια φιάλη και παρατηρούμε τυχόν ορατές αλλαγές. Μπορούμε να καταλάβουμε τη σημασία της εξίσωσης  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  ως «Δύο moles (γραμμομόρια) υδρογόνου αντιδρούν με ένα mole οξυγόνου προς τον σχηματισμό δύο moles νερού».

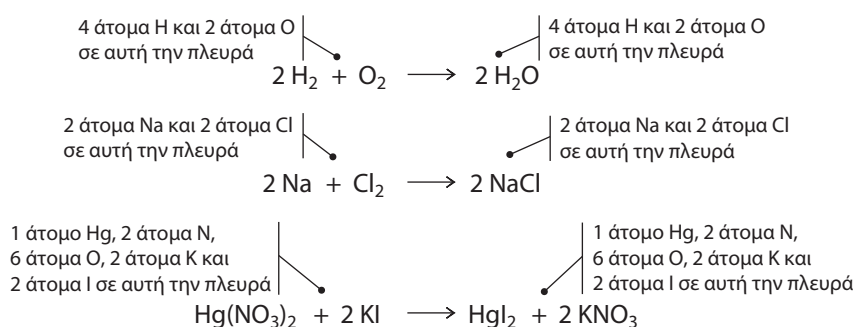
Με παρόμοιο τρόπο, ένα μεμονωμένο άτομο χαλκού δεν άγει τον ηλεκτρισμό και δεν έχει χρώμα στο μικροσκοπικό επίπεδο. Όμως, στα μακροσκοπικά επίπεδα, ένα μεγάλο σύνολο ατόμων χαλκού εμφανίζεται σε εμάς ως ένα στιλπνό, κόκκινο-καφέ στερεό με το οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε ηλεκτρικά καλώδια και κέρματα.

Ένας χημικός τύπος ή μια χημική εξίσωση μπορεί να «διαβαστεί» είτε στο μακροσκοπικό είτε στο μικροσκοπικό

κό επίπεδο. Το σύμβολο  $H_2O$  μπορεί να σημαίνει είτε ένα μικρό, αόρατο μόριο είτε ένα τεράστιο σύνολο μορίων το οποίο είναι αρκετά μεγάλο ώστε να μπορούμε να κολυμπήσουμε σε αυτό. Θα μάθετε να αποδίδετε την κατάλληλη σημασία σε έναν χημικό τύπο ή μια χημική εξίσωση ανάλογα με τα συμφραζόμενα με τα οποία αυτά παρουσιάζονται.

## 3.2 Ισοστάθμιση χημικών εξισώσεων

Στα προηγούμενα κεφάλαια είδαμε ορισμένα παραδείγματα χημικών αντιδράσεων: η αντίδραση του υδρογόνου με το οξυγόνο προς σχηματισμό νερού, η αντίδραση του νατρίου με το χλώριο προς σχηματισμό χλωριδίου του νατρίου και η αντίδραση του νιτρικού υδραργύρου(II) με το ιωδίδιο του καλίου προς σχηματισμό ιωιδίου του υδραργύρου(II):



Δείτε προσεκτικά πώς έχουν γραφτεί αυτές οι χημικές εξισώσεις. Επειδή το υδρογόνο, το οξυγόνο και το χλώριο υφίστανται ως ομοιοπολικά διατομικά μόρια, πρέπει να τα γράψουμε ως  $H_2$ ,  $O_2$  και  $Cl_2$  και όχι ως απομονωμένα άτομα (Ενότητα 2.11). Τώρα παρατηρήστε τα άτομα από την κάθε πλευρά του βέλους της αντίδρασης. Παρότι δεν το έχουμε ακόμα πει ξεκάθαρα, οι χημικές εξισώσεις γράφονται πάντα με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι **ισοσταθμισμένες**, το οποίο σημαίνει ότι οι αριθμοί και τα είδη των ατόμων και στις δύο πλευρές του βέλους της αντίδρασης είναι ακριβώς τα ίδια. Αυτό το προαπαιτούμενο είναι συνέπεια της **αρχής διατήρησης της μάζας** (Ενότητα 2.4). Επειδή τα άτομα ούτε δημιουργούνται ούτε καταστρέφονται κατά τις χημικές αντιδράσεις, τα είδη των ατόμων και οι αριθμοί των ατόμων πρέπει να παραμείνουν τα ίδια τόσο στα προϊόντα όσο και στα αντιδρώντα.

### ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ...

Σύμφωνα με την **αρχή διατήρησης της μάζας**, η μάζα ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται κατά τις χημικές αντιδράσεις (Ενότητα 2.4).

Η ισοστάθμιση μιας χημικής εξίσωσης περιλαμβάνει την εύρεση του αριθμού των **τυπικών μονάδων** για την κάθε διαφορετική ουσία που συμμετέχει στην αντίδραση. Μια **τυπική μονάδα**, όπως υποδηλώνει και ο όρος, αποτελεί τη μονάδα –είτε άτομο, είτε ιόν, είτε μόριο– η οποία αντιστοιχεί σε δεδομένο τύπο. Μια τυπική μονάδα για το  $NaCl$  είναι ένα ιόν  $Na^+$  και ένα ιόν  $Cl^-$ , μια τυπική μονάδα για το  $MgBr_2$  είναι ένα ιόν  $Mg^{2+}$  και δύο ιόντα  $Br^-$ , μια τυπική μονάδα για το  $H_2O$  είναι το ένα μόριο  $H_2O$ .

Οι πολύπλοκες εξισώσεις γενικότερα χρειάζεται να ισοσταθμίζονται χρησιμοποιώντας μια συστηματική μέθοδο, όπως θα δούμε σε επόμενα κεφάλαια, ενώ οι απλές εξισώσεις μπορούν να ισοσταθμιστούν χρησιμοποιώντας ένα μίγμα κοινής λογικής και μεθόδου δοκιμής και σφάλματος. Τα τέσσερα βήματα για την ισοστάθμιση μιας χημικής εξίσωσης είναι:

1. *Γράφουμε τη μη ισοσταθμισμένη εξίσωση χρησιμοποιώντας τη σωστή χημική τυπική μονάδα για το κάθε αντιδρών και το κάθε προϊόν. Για την αντίδραση της αμμωνίας ( $NH_3$ ) με το οξυγόνο προς τον σχηματισμό μονοξειδίου του αζώτου και νερού, ξεκινάμε γράφοντας:*



2. *Βρίσκουμε τους κατάλληλους συντελεστές – τους αριθμούς στα αριστερά των τύπων ώστε να υποδείξουμε πόσες τυπικές μονάδες από την κάθε ουσία απαιτούνται για την ισοστάθμιση της εξίσωσης. Μόνο οι συντελεστές μπορούν να αλλάξουν κατά τη διαδικασία της ισοστάθμισης μιας εξίσωσης, οι τύποι παραμένουν αμετάβλητοι. Θα ήταν καλό να αρχίσουμε με την ισοστάθμιση των στοιχείων που εμφανίζονται σε δύο μόνο είδη της εξίσωσης. Στην αντίδραση της αμμωνίας με το οξυγόνο, το στοιχείο H εμφανίζεται στην  $NH_3$  και στο  $H_2O$  και το στοιχείο N εμφανίζεται στην  $NH_3$  και στο  $NO$ . Για την ισοστάθμιση του H, τοποθετούμε τον συντελεστή 2 μπροστά από*

την  $\text{NH}_3$  και τον συντελεστή 3 μπροστά από το  $\text{H}_2\text{O}$ . Τώρα υπάρχουν 6 άτομα H τόσο στα αντιδρώντα όσο και στα προϊόντα.



Για την ισοστάθμιση του N, είναι απαραίτητος ο συντελεστής 2 μπροστά από το NO, επειδή υπάρχουν 2 άτομα N στα αντιδρώντα.



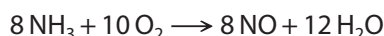
Τα στοιχεία που δεν είναι ενωμένα με άλλα στοιχεία θα πρέπει να ισοσταθμιστούν τελευταία, καθώς η αλλαγή του συντελεστή δεν θα επηρεάσει τα άλλα είδη στην εξίσωση. Σε αυτή την περίπτωση, η προσθήκη του συντελεστή  $5/2$  μπροστά από το  $\text{O}_2$  στα αντιδρώντα θα ισοσταθμίσει το  $\text{O}_2$ , επειδή υπάρχουν 5 άτομα  $\text{O}_2$  στα προϊόντα.



3. Γράφουμε τους συντελεστές με τις μικρότερες ακέραιες τιμές τους. Η εξίσωση για την αντίδραση της αμμωνίας με το οξυγόνο είναι τώρα ισοσταθμισμένη, αλλά συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε ακέραιους συντελεστές για τις ισοσταθμισμένες εξισώσεις. Συνεπώς, πολλαπλασιάζουμε όλους τους συντελεστές με το 2 για να λάβουμε την τελική ισοσταθμισμένη εξίσωση.

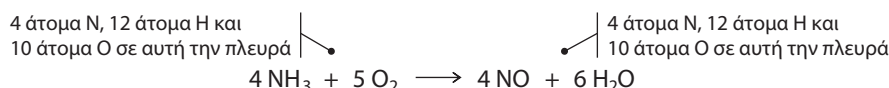


Κατά τη διαδικασία δοκιμής και σφάλματος για την ισοστάθμιση, υπάρχει περίπτωση να φτάσουμε σε μια εξίσωση η οποία να έχει συντελεστές που θα πρέπει να τους απλοποιήσουμε. Αν είχαμε την εξής ισοσταθμισμένη εξίσωση



θα ήταν απαραίτητο να διαιρέσουμε με τον κοινό διαιρέτη ώστε να λάβουμε τις μικρότερες ακέραιες τιμές. Η διαίρεση όλων των συντελεστών με το 2 θα μας οδηγούσε στη σωστά ισοσταθμισμένη εξίσωση.

4. Ελέγχουμε την απάντηση που δώσαμε διασφαλίζοντας ότι οι αριθμοί και τα είδη των ατόμων είναι τα ίδια και στα δύο μέρη της εξίσωσης.

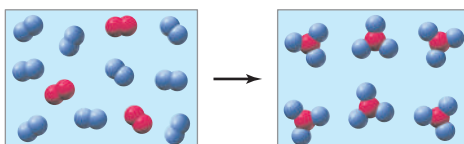


Ας δούμε μερικά ακόμα παραδείγματα.

### ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.1

#### Οπτικοποίηση ατόμων και μορίων σε μια χημική εξίσωση

Γράψτε την ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση του στοιχείου A (κόκκινες σφαίρες) με το στοιχείο B (μπλε σφαίρες) όπως απεικονίζεται παρακάτω:



#### Στρατηγική

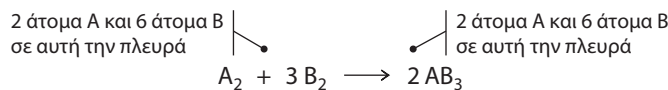
Η ισοστάθμιση της αντίδρασης που βλέπουμε σε αυτή τη μοριακή αναπαράσταση είναι απλώς θέμα καταμέτρησης του αριθμού των τυπικών μονάδων για τα αντιδρώντα και τα προϊόντα. Σε αυτό το παράδειγμα, το κουτί των αντιδρώντων περιέχει τρία κόκκινα μόρια  $\text{A}_2$  και εννιά μπλε μόρια  $\text{B}_2$ , ενώ το κουτί των προϊόντων περιέχει έξι μόρια  $\text{AB}_3$  χωρίς να έχει παραμείνει κανένα αντιδρών.

### Λύση

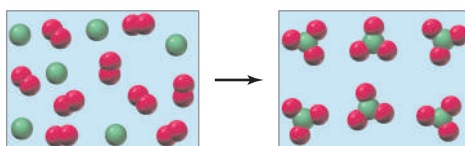
$3 A_2 + 9 B_2 \longrightarrow 6 AB_3$  και διαιρώντας με το 3 λαμβάνουμε την απλοποιημένη εξίσωση  $A_2 + 3 B_2 \longrightarrow 2 AB_3$

### Έλεγχος

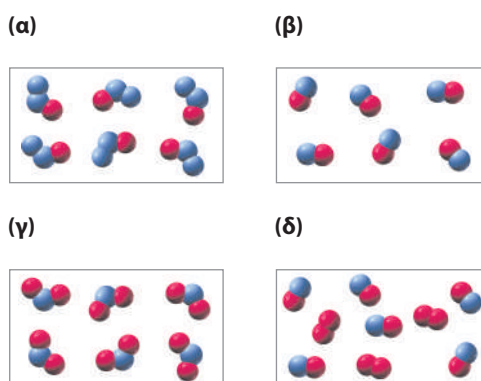
Σε κάθε ισοσταθμισμένη εξίσωση, ο αριθμός και το είδος των ατόμων πρέπει να είναι τα ίδια και στις δύο πλευρές.



**Εννοιολογική πρακτική 3.1** Γράψτε την ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση του στοιχείου A (κόκκινες σφαίρες) με το στοιχείο B (πράσινες σφαίρες) όπως απεικονίζεται παρακάτω:



**Εννοιολογική εφαρμογή 3.2** Αν οι μπλε σφαίρες αντιπροσωπεύουν τα άτομα αζώτου και οι κόκκινες σφαίρες αντιπροσωπεύουν τα άτομα οξυγόνου, ποιο από τα παρακάτω κουτιά αντιπροσωπεύει τα αντιδρώντα και ποιο κουτί αντιπροσωπεύει τα προϊόντα για την αντίδραση  $2 NO(g) + O_2(g) \longrightarrow 2 NO_2(g)$ ;



## ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.2

### Ισοστάθμιση χημικής εξίσωσης

Το προπάνιο,  $C_3H_8$ , είναι ένα άχρωμο και άοσμο αέριο το οποίο χρησιμοποιείται συχνά ως καύσιμο για θέρμανση και για μαγείρεμα σε κάμπινγκ και σε αγροτικά σπίτια. Γράψτε την ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση καύσης του προπανίου με το οξυγόνο προς σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα και νερού.

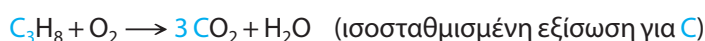
### Στρατηγική και λύση

Ακολουθήστε τα παρακάτω τέσσερα βήματα που περιγράφονται στο κείμενο:

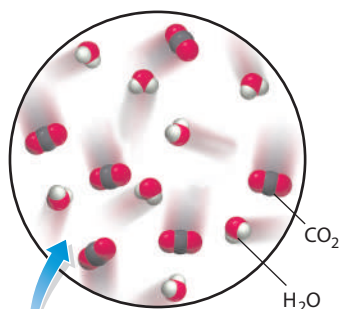
**Βήμα 1.** Γράψτε τη μη ισοσταθμισμένη εξίσωση χρησιμοποιώντας τους σωστούς χημικούς τύπους για όλες τις ενώσεις:



**Βήμα 2.** Βρείτε τους κατάλληλους συντελεστές για την ισοστάθμιση της εξίσωσης. Αρχίστε με την ισοστάθμιση των στοιχείων που εμφανίζονται σε δύο είδη· σε αυτή την αντίδραση αυτά είναι τα C και H. Δείτε τη μη ισοσταθμισμένη εξίσωση και παρατηρήστε ότι υπάρχουν 3 άτομα άνθρακα στα αριστερά της εξίσωσης, αλλά μόνο 1 άτομο άνθρακα στα δεξιά της εξίσωσης. Αν προσθέσουμε τον συντελεστή 3 στο  $CO_2$  στα δεξιά, τότε τα άτομα άνθρακα ισοσταθμίζονται:







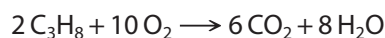
Στη συνέχεια, δείτε τον αριθμό των ατόμων υδρογόνου. Υπάρχουν 8 άτομα υδρογόνου στα δεξιά, αλλά μόνο 2 (στο  $\text{H}_2\text{O}$ ) στα δεξιά. Προσθέτοντας τον συντελεστή 4 στο  $\text{H}_2\text{O}$  στα δεξιά, τότε τα άτομα υδρογόνου ισοσταθμίζονται:



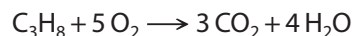
Βρείτε τον συντελεστή για το  $\text{O}_2$  στο τέλος, καθώς το οξυγόνο δεν ενώνεται με τα άλλα στοιχεία. Δείτε τον αριθμό των ατόμων οξυγόνου. Υπάρχουν 2 άτομα οξυγόνου στα δεξιά, αλλά μόνο 10 στα δεξιά. Προσθέτοντας τον συντελεστή 5 στο  $\text{O}_2$  στα αριστερά, τότε τα άτομα οξυγόνου ισοσταθμίζονται:



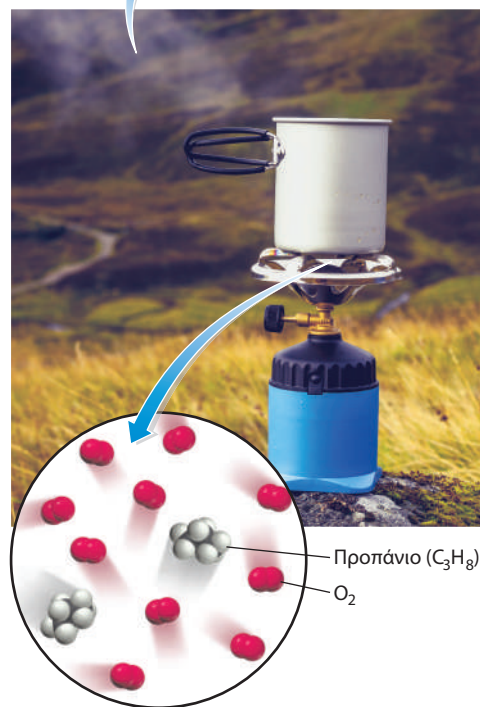
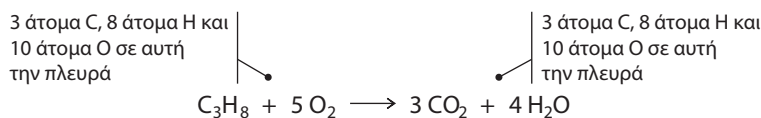
**Βήμα 3.** Επιβεβαιώστε ότι οι συντελεστές έχουν απλοποιηθεί στη μικρότερη ακέραια τιμή. Στην πραγματικότητα, η απάντησή μας είναι ήδη σωστή, αλλά θα μπορούσαμε να έχουμε φτάσει σε διαφορετική απάντηση με τη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος:



Παρότι η παραπάνω εξίσωση είναι ισοσταθμισμένη, οι συντελεστές δεν έχουν τις μικρότερες ακέραιες τιμές που μπορούν να λάβουν. Θα πρέπει να διαιρέσουμε όλους τους συντελεστές με το 2 για να λάβουμε την τελική εξίσωση. Ο συντελεστής 1 δεν γράφεται ποτέ αλλά υπονοείται σε περίπτωση που δεν δίνεται κάποιος άλλος συντελεστής.



**Βήμα 4.** Ελέγξτε την απάντηση καταμετρώντας τον αριθμό και το είδος των ατόμων και στις δύο πλευρές της εξίσωσης ώστε να είναι τα ίδια:

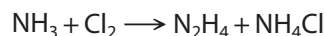


Το προπάνιο χρησιμοποιείται ως καύσιμο στα καμινέτα του κάμπινγκ και σε αγροτικά σπίτια.



Η έντονη αντίδραση του χλωρικού καλίου με την επιτραπέζια ζάχαρη.

**Πρακτική 3.3** Ισοσταθμίστε την εξίσωση για τη σύνθεση υδραζίνης, που χρησιμοποιείται ως καύσιμο για τους πυραύλους.

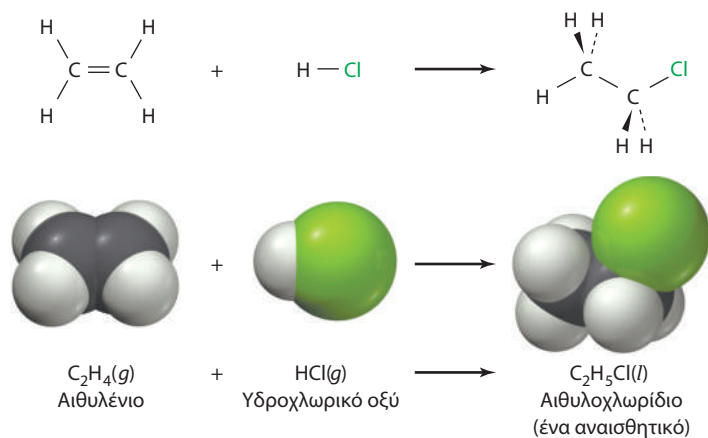


**Εφαρμογή 3.4** Το κύριο συστατικό στα σπέρτα είναι το χλωρικό κάλιο,  $\text{KClO}_3$ , μια ουσία η οποία μπορεί να δράσει ως πηγή οξυγόνου σε αντιδράσεις καύσης. Η αντίδρασή της με την κοινή επιτραπέζια ζάχαρη (σακχαρόζη,  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ), για παράδειγμα, είναι έντονη προς σχηματισμό χλωριδίου του καλίου, διοξειδίου του άνθρακα και νερού. Γράψτε την ισοσταθμισμένη εξίσωση για την αντίδραση.

### 3.3 Μοριακό βάρος και γραμμομοριακή μάζα

Φανταστείτε ένα εργαστηριακό πείραμα – ίσως την αντίδραση του αιθυλενίου,  $\text{C}_2\text{H}_4$ , με το υδροχλωρικό οξύ,  $\text{HCl}$ , προς σχηματισμό του αιθυλοχλωριδίου,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ , ενός άχρωμου υγρού με χαμηλό σημείο ζέσεως το οποίο χρησιμοποιούν οι γιατροί και οι προπονητές με τη μορφή εκνεφώματος (σπρέι) ως τοπικό αναισθητικό για τους μικροτραυματισμούς. Θα

έχετε προσέξει ότι, όταν γράψαμε αυτή και άλλες εξισώσεις, χρησιμοποιούμε τους χαρακτηρισμούς (*g*) για τα αέρια, (*l*) για τα υγρά, (*s*) για τα στερεά και (*aq*) για τα υδατικά διαλύματα (από τους όρους *gas*, *liquid*, *solid* και *aqueous solutions* αντίστοιχα), μαζί με τα σύμβολα των αντιδρώντων και των προϊόντων, για να υποδείξουμε τη φυσική τους κατάσταση. Θα το κάνουμε αυτό συχνά από εδώ και πέρα.



Το αιθυλοχλωρίδιο χρησιμοποιείται συχνά ως τοπικό αναισθητικό με τη μορφή σπρέι για αθλητικούς μικροτραυματισμούς.

Πόσο αιθυλένιο και πόσο υδροχλωρικό οξύ θα πρέπει να χρησιμοποιήσετε για το πείραμα; Σύμφωνα με τους συντελεστές της ισοσταθμισμένης εξίσωσης, χρειάζεστε μια αριθμητική αναλογία 1:1 για τα δύο αντιδρώντα. Στο εργαστήριο, δεν μπορείτε να μετρήσετε τα αντιδρώντα μόρια, αλλά θα πρέπει να τα ζυγίσετε. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να μετατρέψετε μια **αριθμητική** αναλογία αντιδρώντων μορίων, όπως σας δίνεται με τους συντελεστές της ισοσταθμισμένης εξίσωσης, σε αναλογία **μάζας** ώστε να είστε σίγουροι ότι χρησιμοποιείτε τις σωστές ποσότητες.

Οι αναλογίες μάζας υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τα **μοριακά βάρη** των ουσιών που λαμβάνουν μέρος σε μια αντίδραση. Όπως λοιπόν το **ατομικό βάρος** ενός στοιχείου είναι ο μέσος όρος της μάζας των *ατόμων* του στοιχείου (Ενότητα 2.9), έτσι και το **μοριακό βάρος** μιας ουσίας είναι ο μέσος όρος της μάζας των *μορίων* της ουσίας. Αριθμητικά, το μοριακό βάρος (ή, γενικότερα, το **τυπικό βάρος** που περιλαμβάνει τόσο τις ιοντικές όσο και τις μοριακές ουσίες) είναι ίσο με το άθροισμα των ατομικών βαρών όλων των ατόμων του μορίου.

### ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ...

Το **ατομικό βάρος** ενός στοιχείου είναι ο σταθμισμένος μέσος όρος των μαζών από τα φυσικά απαντώμενα ισότοπα του στοιχείου. Παρότι το ατομικό βάρος συνήθως γράφεται ως αδιάστατο μέγεθος, έχει μονάδα μέτρησης την ατομική μονάδα μάζας (*u*) (Ενότητα 2.9).

**Μοριακό βάρος** Άθροισμα των ατομικών βαρών όλων των ατόμων ενός μορίου.

**Τυπικό βάρος** Άθροισμα των ατομικών βαρών όλων των ατόμων μιας τυπικής μονάδας για μια ένωση, μοριακή ή ιοντική.

Για παράδειγμα, το μοριακό βάρος του αιθυλενίου είναι 28,0, το μοριακό βάρος του υδροχλωρικού οξέος είναι 36,5 και το μοριακό βάρος του αιθυλοχλωριδίου είναι 64,5. (Αυτοί οι αριθμοί έχουν στρογγυλοποιηθεί στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο για μεγαλύτερη ευκολία, ενώ οι πραγματικές τιμές είναι γνωστές με μεγαλύτερη ακρίβεια.)

#### Για το αιθυλένιο, $\text{C}_2\text{H}_4$ :

Ατομικό βάρος από 2 C = (2)(12,0) = 24,0
Ατομικό βάρος από 4 H = (4)(1,0) = 4,0
<b>Μοριακό βάρος του <math>\text{C}_2\text{H}_4</math> = 28,0</b>

#### Για το υδροχλωρικό οξύ, HCl:

Ατομικό βάρος H = 1,0
Ατομικό βάρος Cl = 35,5
<b>Μοριακό βάρος του HCl = 36,5</b>

#### Για το αιθυλοχλωρίδιο, $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ :

Ατομικό βάρος από 2 C = (2)(12,0) = 24,0
Ατομικό βάρος από 5 H = (5)(1,0) = 5,0
Ατομικό βάρος Cl = 35,5
<b>Μοριακό βάρος του <math>\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}</math> = 64,5</b>

**ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ...**

Το **γραμμομόριο (mole)** είναι μια θεμελιώδης μονάδα στο SI που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ποσότητας της ύλης. Ένα mole οποιασδήποτε ουσίας –ατόμου, ιόντος ή μορίου– είναι η ποσότητα της οποίας η μάζα σε γραμμάρια είναι αριθμητικά ίση με το ατομικό βάρος της ένωσης (ή το τυπικό βάρος). Το ένα mole περιέχει τον αριθμό τυπικών μονάδων ίσων με τον **αριθμό του Avogadro** ( $6,022 \times 10^{23}$ ) (Ενότητα 2.9).

Πώς χρησιμοποιούμε τα μοριακά βάρη; Είδαμε στην Ενότητα 2.9 ότι το ένα **γραμμομόριο (mole)** οποιουδήποτε στοιχείου είναι η ποσότητα της οποίας η μάζα σε γραμμάρια, ή **γραμμομοριακή μάζα**, είναι αριθμητικά ίση με το ατομικό βάρος του στοιχείου. Με τον ίδιο τρόπο, ένα mole οποιασδήποτε χημικής ένωσης είναι η ποσότητα της οποίας η μάζα σε γραμμάρια είναι αριθμητικά ίση με το μοριακό βάρος της ένωσης (ή το τυπικό βάρος) και περιέχει τον αριθμό τυπικών μονάδων (μόρια ή ιόντα) ίσο με τον **αριθμό του Avogadro** ( $6,022 \times 10^{23}$ ). Συνεπώς, το 1 mol του αιθυλενίου έχει μάζα 28,0 g, το 1 mol του HCl έχει μάζα 36,5 g και το 1 mol του  $C_2H_5Cl$  έχει μάζα 64,5 g.

Μορ. βάρος HCl = 36,5	Γραμμομοριακή μάζα HCl = 36,5 g/mol	1 mol HCl = $6,022 \times 10^{23}$ μόρια HCl
Μορ. βάρος $C_2H_4$ = 28,0	Γραμμομοριακή μάζα $C_2H_4$ = 28,0 g/mol	1 mol $C_2H_4$ = $6,022 \times 10^{23}$ μόρια $C_2H_4$
Μορ. βάρος $C_2H_5Cl$ = 64,5	Γραμμομοριακή μάζα $C_2H_5Cl$ = 64,5 g/mol	1 mol $C_2H_5Cl$ = $6,022 \times 10^{23}$ μόρια $C_2H_5Cl$

**ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.3****Υπολογισμός μοριακού βάρους**

Ποιο είναι το μοριακό βάρος της γλυκόζης ( $C_6H_{12}O_6$ ) και ποια είναι η γραμμομοριακή της μάζα σε g/mol;

**Προσδιορισμός**

Γνωστά δεδομένα	Άγνωστες παράμετροι
Χημικός τύπος της γλυκόζης ( $C_6H_{12}O_6$ )	Μοριακό βάρος και γραμμομοριακή μάζα της γλυκόζης

**Στρατηγική**

Το μοριακό βάρος μιας ουσίας είναι το άθροισμα των ατομικών βαρών των συστατικών της ατόμων. Φτιάχνουμε έναν κατάλογο των στοιχείων που εμπριέχονται στο μόριο και ελέγχουμε το ατομικό βάρος για το καθένα (για λόγους ευκολίας θα στρογγυλοποιήσουμε στο πρώτο δεκαδικό ψηφίο):

$$C (12,0) \quad H (1,0) \quad O (16,0)$$

Στη συνέχεια, πολλαπλασιάζουμε το ατομικό βάρος του κάθε στοιχείου με τον αριθμό με τον οποίο εμφανίζεται στον χημικό τύπο και θα αθροίσουμε συνολικά τα αποτελέσματα.

**Λύση**

$$\begin{aligned} C_6 (6 \times 12,0) &= 72,0 \\ H_{12} (12 \times 1,0) &= 12,0 \\ O_6 (6 \times 16,0) &= 96,0 \end{aligned}$$

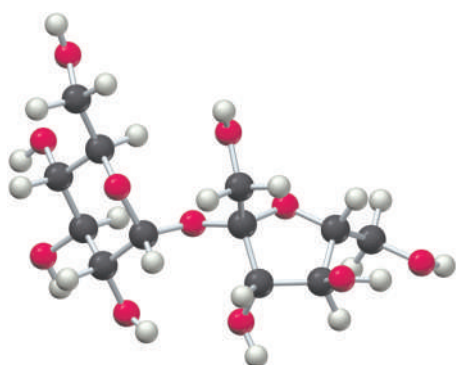
---


$$\text{Μοριακό βάρος του } C_6H_{12}O_6 = 180,0$$

Επειδή ένα μόριο γλυκόζης έχει μάζα 180,0 u, τότε το 1 mol γλυκόζης έχει μάζα 180,0 g. Συνεπώς, η γραμμομοριακή μάζα της γλυκόζης είναι 180,0 g/mol.

**Πρακτική 3.5** Υπολογίστε το μοριακό βάρος του θειικού οξέος ( $H_2SO_4$ ).

**Εννοιολογική εφαρμογή 3.6** Με τη βοήθεια του συντακτικού τύπου της σακχαρόζης, υπολογίστε το μοριακό της βάρος και τη γραμμομοριακή της μάζα σε g/mol (γκρι = C, κόκκινο = O, λευκό = H).



Σακχαρόζη



### ΛΥΜΕΝΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3.4

#### Αλληλομετατροπή μάζας και moles

Πόσα moles γλυκόζης, η οποία χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση των χαμηλών επιπέδου σακχάρου στο αίμα, εμπεριέχονται σε ένα δισκίο μάζας 2,00 g; (Η γραμμομοριακή μάζα της γλυκόζης,  $C_6H_{12}O_6$ , έχει υπολογιστεί στο Λυμένο Παράδειγμα 3.3.)

#### Προσδιορισμός

Γνωστά δεδομένα	Άγνωστες παράμετροι
Μάζα της γλυκόζης (2,00 g)	Moles της γλυκόζης

#### Στρατηγική

Η γνωστή ποσότητα (σε γραμμάρια) μπορεί να μετατραπεί στην άγνωστη ποσότητα (moles) χρησιμοποιώντας τη γραμμομοριακή μάζα της γλυκόζης ως παράγοντα μετατροπής. Εκφράζουμε την εξίσωση με τέτοιο τρόπο ώστε οι ανεπιθύμητες μονάδες να απλοποιούνται.

#### Λύση

$$2,00 \text{ g γλυκόζη} \times \frac{1 \text{ mol γλυκόζης}}{180,0 \text{ g γλυκόζης}} = 0,0111 \text{ mol γλυκόζης} = 1,11 \times 10^{-2} \text{ mol γλυκόζης}$$

#### Έλεγχος

Επειδή η γραμμομοριακή μάζα της γλυκόζης είναι 180,0 g/mol, το 1 mol γλυκόζης έχει μάζα 180,0 g. Συνεπώς, τα 2,00 g γλυκόζης είναι λίγο παραπάνω από το ένα εκατοστό του mole ή 0,01 mol. Η εκτίμηση συμφωνεί με την υπολογισμένη λύση.

**Πρακτική 3.7** Πόσα moles εμπεριέχονται σε 5,26 g  $NaHCO_3$ , που είναι το κύριο συστατικό για τα φαρμακευτικά σκευάσματα που δρουν ως αντιόξινα;

**Εφαρμογή 3.8** Όταν ένα διαβητικό άτομο έχει χαμηλά επίπεδα γλυκόζης στο αίμα, πιθανόν λόγω περίσσειας ινσουλίνης ή λόγω αυξημένης σωματικής δραστηριότητας, τότε η θεραπεία είναι η κατανάλωση δισκίων γλυκόζης.

- Πόσα γραμμάρια γλυκόζης είναι η συνιστώμενη ποσότητα για τη θεραπεία ενός ενήλικα που αντιστοιχεί σε 0,0833 mol γλυκόζης;
- Ένα τυπικό δισκίο περιέχει 3,75 g γλυκόζης. Πόσα δισκία θα πρέπει να καταναλωθούν;
- Πόσα μόρια γλυκόζης εμπεριέχονται σε 0,0833 mol;



## 3.4 Στοιχειομετρία: Συσχέτιση ποσοτήτων των αντιδρώντων και των προϊόντων

Η **στοιχειομετρία** αφορά τη χημική αριθμητική που απαιτείται για τη συσχέτιση των ποσοτήτων των αντιδρώντων και των προϊόντων σε μια χημική αντίδραση. Ερωτήσεις όπως «Ποια είναι η μάζα των προϊόντων που μπορούν να παραχθούν με βάση μια δεδομένη ποσότητα αντιδρώντων;» ή «Ποια είναι η απαιτούμενη μάζα έτσι ώστε ένα αντιδρών να αντιδράσει πλήρως με ένα άλλο αντιδρών;» μπορούν να απαντηθούν με τη χρήση της στοιχειομετρίας.

Σε κάθε ισοσταθμισμένη χημική εξίσωση, οι συντελεστές δείχνουν τον αριθμό των τυπικών μονάδων, επομένως και τον αριθμό των μορίων, για την κάθε ένωση που συμμετέχει σε μια αντίδραση. Μπορείτε στη συνέχεια να χρησιμοποιήσετε τις γραμμομοριακές μάζες ως παράγοντες μετατροπής για να υπολογίσετε τις μάζες των αντιδρώντων και των προϊόντων. Για παράδειγμα, αν βλέπατε την παρακάτω ισοσταθμισμένη εξίσωση για τη βιομηχανική σύνθεση της αμμωνίας, θα γνωρίζατε ότι 3 mol  $H_2(g)$  ( $3 \text{ mol} \times 2,0 \text{ g/mol} = 6,0 \text{ g}$ ) απαιτούνται για να αντιδράσουν με 1 mol  $N_2(g)$  (28,0 g) προς σχηματισμό 2 mol  $NH_3(g)$  ( $2 \text{ mol} \times 17,0 \text{ g/mol} = 34,0 \text{ g}$ ).

